

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
11. März 2004 (11.03.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/021610 A1(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H04B 10/08**[DE/DE]; Obere Dorfstrasse 8, 85653 Aying (DE). RAPP,
Lutz [DE/DE]; Jägerstrasse 16, 82041 Deisenhofen (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2003/002671

(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGE-
SELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München
(DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:

8. August 2003 (08.08.2003)

(81) Bestimmungsstaaten (national): CN, US.

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,
HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

102 39 305.2 27. August 2002 (27.08.2002) DE

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen
eintreffen

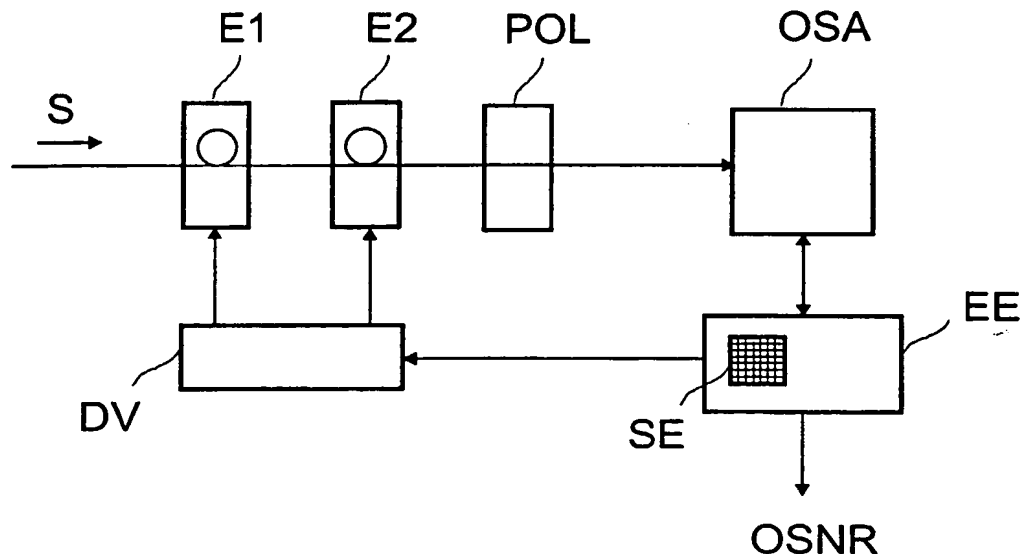
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE];
Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Ab-
kürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Co-
des and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der
PCT-Gazette verwiesen.

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): MARTIN, Jürgen

(54) Title: METHOD FOR DETERMINING THE SIGNAL-TO-NOISE RATIO FOR AN OPTICAL SIGNAL

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ERMITTLUNG DER SIGNAL-RAUSCHABSTÄNDE EINES OPTISCHEN SIGNALS



(57) Abstract: A method for determining signal-to-noise ratios and noise levels in an optical signal is disclosed, the first polarisation state of which is converted into a second polarisation state by means of number of tunings of a polarisation regulator. Defined changes to the second polarisation state are adjusted on the Poincaré sphere by means of the polarisation regulator, whereby power values for the optical signal are determined after selection of a component of the electrical field. Some of the determined power values for the optical signal are stored and serve for the calculation of the signal-to-noise ratio (OSNR) of optical signals. Said method is rapid, requires little complicated equipment and is particularly suitable for a WDM transmission system in which many channels in a WDM signal are transmitted with small channel separations.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



(57) **Zusammenfassung:** Es wird ein Verfahren zur Ermittlung von Signal-Rauschabständen bzw. von Rauschleistungen eines optischen Signals beschrieben, dessen erster Polarisationszustand mittels einer Mehrzahl von Einstellungen eines Polarisationsstellers in einen zweiten Polarisationszustand umgewandelt wird. Definierte Änderungen des zweiten Polarisationszustandes werden mit Hilfe des Polarisationsstellers auf der Poincaré-Kugel eingestellt, bei denen Leistungswerte des optischen Signals nach Selektion einer Komponenten des elektrischen Feldes ermittelt werden. Einige ermittelte Leistungswerte des optischen Signals werden gespeichert und dienen zur Berechnung des Signal-Rauschabstandes (OSNR) von optischen Signalen. Das Verfahren ist schnell, erfordert wenig Aufwand hinsichtlich seines Vorrichtungsaspekts und eignet sich besonders für ein WDM-Übertragungssystem, bei denen viele Kanäle eines WDM-Signals mit geringen Kanalabständen übertragen werden.

Beschreibung

Verfahren zur Ermittlung der Signal-Rauschabstände eines optischen Signals

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ermittlung des Rausch-Signalabstandes (OSNR) eines optischen Signals nach den Oberbegriffen der Patentansprüche 1 und 9.

- 10 Die mit Hilfe von Wellenlängen-Multiplex(-WDM)-
Übertragungssystemen überbrückbare Übertragungsbereichweite
eines WDM-Signals mit mehreren Kanälen wird unter anderem
durch die in optischen Verstärkern entstehende verstärkte
spontane Emission ASE, „amplified spontaneous emission“, als
15 Rauschleistung begrenzt, die sich den optischen Signalen bei
den Kanälen überlagert. Zur optimalen Einregelung der
Übertragungseigenschaften muss diese Rauschleistung gemessen
werden.
- 20 Üblicherweise wird die in einem gewissen Wellenlängenabstand
zu einem Kanal auftretende Rauschleistung ASE bei kleineren
und größeren Wellenlängen gemessen und die dem Kanal
überlagerte Rauschleistung ASE durch Interpolation berechnet.
Infolge der starken Zunahme der Anzahl an Wellenlängenkanälen
25 und der damit einhergehenden Abnahme des Kanalabstands kann
dieses Verfahren nicht mehr eingesetzt werden. Auch die in
modernen Übertragungssystemen innerhalb der Strecke
eingesetzten Komponenten zur Beeinflussung des Spektrums und
zum Ein- bzw. Auskoppeln von Signalen verbieten den Einsatz
30 dieses Verfahrens. In solchen Übertragungssystemen sollte
deshalb ein Verfahren zum Einsatz kommen, das direkt die
Messung der den Kanälen überlagerten Rauschleistung ASE
zulässt.
- 35 Als Abhilfe wurde ein als „Polarization Nulling“ bezeichnetes
Verfahren vorgeschlagen, das davon Gebrauch macht, daß der
aus der Rauschkomponente ASE resultierende Signalanteil

nicht polarisiert ist. Der wesentliche Nachteil aller bisher bekannten Realisierungsvorschläge dieses Verfahrens ist jedoch, daß durch spektrale Filterung jeder Kanal einzeln selektiert und mit Hilfe eines Polarisationsstellers ein definierter Polarisationszustand zur optimalen Unterdrückung des polarisierten Signalanteils eingestellt werden muss.

Dadurch wird dieses Verfahren sehr aufwendig und führt zu langen Messzeiten. Die beiden folgenden Schriften

beschreiben die Grundlagen der Methode: „OSNR Monitoring Technique Based on Polarisation Nulling Method“, J.H. Lee, D.K. Jung, C.H. Kim, Y.C. Chung, IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 13, No.1, January 2001; „Improved OSNR Monitoring Technique Based on Polarisation Nulling Method“, J.H. Lee, Y.C. Chung, Electronics Letters, 19th July 2001, Vol. 37, No. 15.

In „Optical Signal-To-Noise Ratio Measurement In WDM Networks Using Polarization Extinction“, M. Rasztovits-Wiech et al., ECOC 98, 20-24 Sept., Madrid, p. 549-550 wird eine Anordnung zur Messung der Signal-Rauschabstände vorgestellt, bei der ein WDM-Signal in einen Polarisationssteller, weiterhin in einen linearen Polarisator und anschließend in einen optischen Spektrumanalysator oder in ein Leistungsmessmodul mit vorgeschaltetem abstimmbaren optischen Filter eingespeist wird. Das abstimmbare Filter wird so eingestellt, dass die Leistung eines einzelnen Kanals vollständig transmittiert wird und der restliche Anteil des WDM Spektrums unterdrückt wird. Der Polarisationssteller wird so lange verstellt, bis das Leistungsmessgerät ein minimales Signal anzeigt. Danach wird der Polarisator in die dazu orthogonale Position gebracht, so daß das Leistungsmessmodul einen maximalen Wert anzeigt. Aus der Differenz zwischen maximalem Signal und dem um 3dB erhöhten minimalen Signal ergibt sich der Signal-Rauschabstand OSNR bezogen auf die Bandbreite des abstimmbaren Filters. Ein Nachteil dieser Methode ist der hohe Zeitaufwand bei einer Messung für sehr viele WDM-Kanäle,

da alle Kanäle sequentiell unabhängig wie oben beschrieben vermessen werden müssen.

Ein weiteres Verfahren besteht darin, mit Hilfe eines
5 Polarisations-Verwürflers, „Polarization-Scramblers“,
sämtliche Polarisationszustände auf der Poincaré-Kugel
abzufahren und für jeden eingestellten Polarisationszustand
ein zugehöriges Spektrum mit Hilfe eines optischen
Spektrumanalysators aufzunehmen. Die aus der Analyse aller
10 aufgenommenen Spektren ermittelte minimale und maximale
Leistung wird dann zur Berechnung des Signal-Rauschabstands
OSNR verwendet. Die minimale Leistung tritt genau dann auf,
wenn das Signal vollständig durch den Polarisator unterdrückt
wird, während im Falle der maximalen Leistung die
15 Signalleistung zuzüglich der Rauschleistung ASE gemessen
wird.

In der Praxis ist es natürlich nicht möglich, sämtliche
Polarisationszustände abzufahren. Je nach Zahl der gewählten
20 Zustände und der Geschwindigkeit, mit der sich der
Polarisationszustand eines Kanals im Übertragungssystem
verändert, verbleibt ein mehr oder weniger großer Messfehler.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren und eine
25 Vorrichtung anzugeben, mit denen die Signal-Rauschabstände
der Signale eines optischen Signals auf der Basis des
„Polarization Nulling“ mit minimalem Aufwand und möglichst
schnell ermittelt werden. Besondere Vorteile sollte das
Verfahren bei der Analyse von optischen Wellenlängen-
30 Multiplex-(WDM) Signalen bieten.

Eine Lösung der Aufgabe erfolgt hinsichtlich ihres
Verfahrensaspekts durch ein Verfahren mit den Merkmalen des
Patentanspruchs 1 und hinsichtlich ihres Vorrichtungsaspekts
35 durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Patentanspruchs
9.

Ausgehend von einem Verfahren zur Ermittlung des optischen Signal-Rauschabstands OSNR eines optischen Signals mit einem ersten Polarisationszustand, der mittels einer Mehrzahl von Einstellungen eines Polarisationsstellers in einen zweiten

5 Polarisationszustand umgewandelt wird, bei dem definierte Änderungen des zweiten Polarisationszustandes durch den Polarisationssteller auf der Poincaré-Kugel eingestellt werden, bei denen Amplitudenwerte des optischen Signals ermittelt werden, werden erfindungsgemäß die ermittelten

10 Amplitudenwerte des optischen Signals gespeichert. Der Signal-Rauschabstand OSNR des oder eines weiteren optischen Signals wird aus einem berechneten Wert der gespeicherten Amplitudenwerte ermittelt.

15 Aufgrund einer begrenzten Anzahl von gespeicherten Amplitudenwerten werden erfindungsgemäß die Signal-Rauschabstände OSNR eines oder mehrerer Kanäle mittels einer Interpolation hergeleitet. Dies wird durch die Ermittlung des berechneten Wertes als interpolierter Hub der quadrierten

20 gespeicherten Amplitudenwerte erreicht.

Ein wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens ist darin zu sehen, dass anstelle diskreter, kanalindividueller, feiner und langsamer Einstellungen oder Regelungen des

25 Polarisationsstellers nur einige Voreinstellungen zur Ermittlung von zu speichernden Amplitudenwerten bei definierten Polarisationszuständen notwendig sind. Daher ist das Verfahren bei der Ermittlung weiterer Signal-Rauschabstände OSNR sehr schnell.

30 Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht darin, dass es nicht erforderlich ist, gezielt einen bestimmten Polarisationszustand einzustellen, so daß keine aufwendige Regelung erforderlich ist.

35 Da Messungen bei beliebigen Polarisationszuständen durchgeführt werden, können bei einer gegebenen Einstellung

der beiden Platten gleichzeitig mehrere Messpunkte für alle Kanäle gewonnen werden, so daß die Messzeit unabhängig von der Anzahl der Kanäle ist.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den
5 Unteransprüchen angegeben.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird im folgenden anhand der Zeichnung näher erläutert.

10 Dabei zeigt:

Fig. 1: eine Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

15 Zur einfacheren Darstellung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird eine Vorrichtung gemäß Figur 1 so gewählt, dass ein WDM-Signal S zunächst einem Polarisationssteller PS, bestehend aus einer $\lambda/4$ -Platte E1 und einer $\lambda/2$ -Platte E2 als Phasenverzögerungsplatten, zugeführt wird. Dem
20 Polarisationssteller PS ist ein Polarisator POL nachgeschaltet. Für verschiedene Einstellungen des Polarisators bzw. des aus dem Polarisationsstellers durchgelassenen Polarisationszustandes wird nun mittels eines optischen Spektrumanalysators OSA jeweils die spektrale
25 Leistungsdichte am Ausgang dieser Vorrichtung aufgezeichnet. Dem optischen Spektrumanalysator OSA kann ein Wellenlängen-Demultiplexer oder ein wellenlängen-selektives Filter vorgeschaltet werden, so dass gewählte Kanäle oder nur ein Kanal des WDM-Signals aufgenommen werden/wird. Eine
30 Demultiplexierung ist jedoch in der Praxis nicht notwendig. Dem optischen Spektrumanalysator OSA ist eine Ermittlungseinheit EE des Signal-Rauschabstandes OSNR zugeschaltet, bei der eine Interpolation und eine Hubsuche der am optischen Spektrumanalysator OSA aufgenommenen
35 Amplitudenwerten zur erfindungsgemäßen Ermittlung des gemessenen Signal-Rauschabstandes OSNR durchgeführt werden. Die Ermittlungseinheit EE steuert eine Drehvorrichtung DV der

Platten E1, E2. Dem optischen Spektrumanalysator OSA oder der Ermittlungseinheit EE ist eine Speichereinheit SE zur Tabellierung von den am optischen Spektrumanalysator OSA gemessenen Amplitudenwerten des Signals bei unterschiedlichen
5 Stellungen der Phasenverzögerungsplatte E1, E2 angeschlossen.

Mathematisch lässt sich ein elektrischer Feldvektor \vec{E} einer ebenen Welle mit Frequenz ω und Wellenzahl k , die sich in einem orthogonalen Koordinatensystem mit x-, y- und z-Achsen
10 in z-Richtung bewegt, durch den Ausdruck:

$$\vec{E} = \begin{pmatrix} E_x e^{i\varphi_x} \\ E_y e^{i\varphi_y} \end{pmatrix} e^{i(\omega t - kz)}$$

beschreiben. Dabei bezeichnen E_x , φ_x und E_y , φ_y die Amplitude und Phase der Komponenten des elektrischen Feldvektors \vec{E} in
15 x- bzw. y-Richtung. Durch Normierung mit

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}$$

20 entsteht der sogenannte Jones-Vektor \vec{J} :

$$\vec{J} = \frac{1}{E} \begin{pmatrix} E_x e^{i\varphi_x} \\ E_y e^{i\varphi_y} \end{pmatrix},$$

der den Polarisationszustand der Welle beschreibt.

25

Für den Polarisationszustand ist nur die Differenz $\Delta\varphi = \varphi_y - \varphi_x$ von Bedeutung, so dass die Phase einer Komponente zu Null gesetzt werden darf. Mit $\varphi_x = 0$ erhält
man:

30

$$\vec{J} = \frac{1}{E} \begin{pmatrix} E_x \\ E_y e^{i\Delta\varphi} \end{pmatrix}.$$

Der Einfluss von optischen Komponenten auf die Polarisation einer ebenen Welle lässt sich durch Müller-Matrizen beschreiben, die die Jones-Vektoren in Form einer linearen Abbildung transformieren. Matrixdarstellungen sind immer mit
 5 der Wahl einer speziellen Basis verknüpft. Das bedeutet, daß mit Angabe einer Matrix die Lage der Koordinatenachsen fixiert wird. In diesem Ausführungsbeispiel erfährt die x-Komponente der dem linearen Polarisator POL eingehenden Welle eine maximale Transmission und die y-Komponente dieser Welle
 10 wird vollständig unterdrückt.

Die Müller-Matrix der $\lambda/4$ -Platte, deren schnelle Achse mit der x-Achse den Winkel δ bildet, lässt sich wie folgt darstellen:

15

$$M_{\lambda/4} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 + i \cdot \cos 2\delta & i \cdot \sin 2\delta \\ \sin 2\delta & 1 - i \cdot \cos 2\delta \end{pmatrix}.$$

Die Müller-Matrix der $\lambda/2$ -Platte lautet:

20

$$M_{\lambda/2} = i \begin{pmatrix} \cos 2\theta & \sin 2\theta \\ \sin 2\theta & -\cos 2\theta \end{pmatrix},$$

wobei θ den Winkel zwischen der schnellen Achse dieser Platte mit der x-Achse bezeichnet.

25 Im Folgenden soll die in Figur 1 abgebildete Vorrichtung mit Hilfe dieser Theorie betrachtet werden. Die Anordnung aus der $\lambda/4$ -Platte und der $\lambda/2$ -Platte wird durch die folgende Matrix beschrieben, wobei die Elemente in der zweiten Zeile mit Absicht nicht dargestellt sind, da sie nur die vom
 30 Polarisator POL unterdrückte y-Komponente des elektrischen Feldes \vec{E} beeinflussen:

$$M = M_{\lambda/2} \cdot M_{\lambda/4} = \frac{i}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \cos 2\theta + i \cdot \cos (2\theta - 2\delta) & \sin 2\theta - i \cdot \sin (2\theta - 2\delta) \\ \dots & \dots \end{pmatrix}$$

Für die am optischen Spektrumanalysator OSA gemessene Signalleistung $I = |\vec{E}|^2$ und damit $I = |\vec{M} \cdot \vec{J}|^2$ gilt:

$$I = \frac{1}{2} \left[E_x^2 \cdot (\cos^2 2\theta + \cos^2(2\theta - 2\delta)) + E_y^2 \cdot (\sin^2 2\theta + \sin^2(2\theta - 2\delta)) + 2E_x E_y \cdot \cos \Delta\varphi \cdot (\sin 2\theta \cdot \cos 2\theta - \sin(2\theta - 2\delta) \cdot \cos(2\theta - 2\delta)) \right]$$

5

wobei $\Delta\varphi = \varphi_y - \varphi_x$, wie oben definiert.

In normierter Form ergibt sich daraus:

$$\frac{I}{E_x^2 + E_y^2} = \frac{1}{2} + \cos(4\theta - 2\delta) \cdot \left[(q^2 - 1/2) \cdot \cos 2\delta + q \cdot \sqrt{1 - q^2} \cdot \cos \Delta\varphi \cdot \cos 2\delta \right] + \sin(4\theta - 2\delta) \cdot q \cdot \sqrt{1 - q^2} \cdot \sin \Delta\varphi$$

10

wobei q die Verteilung der Gesamtleistung auf die beiden Komponenten E_x , E_y am Eingang der Messeinrichtung gemäß den folgenden Gleichungen bezeichnet:

15

$$E_x = \frac{q}{\sqrt{E_x^2 + E_y^2}}$$

und

$$E_y = \frac{\sqrt{1 - q^2}}{\sqrt{E_x^2 + E_y^2}} \cdot e^{i\Delta\varphi}$$

20

Aus dieser Darstellung wird ersichtlich, dass die Anhängigkeit der Intensität I von dem Winkel θ durch eine sinusförmige Funktion $\sin(4\theta - 2\delta + \rho)$ beschrieben werden kann (ρ stellt eine Phase dar, die allerdings im Zusammenhang dieser Erfindung nicht von Belang ist).

Das Quadrat A^2 des Hubes dieser sinusförmigen Kurve - d. h. die doppelte Amplitude - berechnet sich zu:

25

9

$$A^2 = 4 \cdot \left[\left\{ q^2 - 1/2 \right\} \cdot \cos 2\delta + q \cdot \sqrt{1 - q^2} \cdot \cos \Delta\varphi \cdot \cos 2\delta \right]^p + \left\{ q \cdot \sqrt{1 - q^2} \cdot \sin \Delta\varphi \right\}^p$$

oder

$$A^2 = 4 \cdot \left[\frac{1}{2} \left\{ q^2 - 1/2 \right\}^2 + q^2 \cdot (1 - q^2) \cdot (1 + \sin^2 \Delta\varphi) \right]^5 + \frac{1}{2} \left\{ q^2 - 1/2 \right\}^2 - q^2 \cdot (1 - q^2) \cdot \cos^2 \Delta\varphi \cdot \cos 4\delta + (q^2 - 1/2) \cdot q \cdot \sqrt{1 - q^2} \cdot \cos \Delta\varphi \cdot \sin 4\delta \right]_{10}$$

Diese Größe zeigt wiederum eine sinusförmige Abhängigkeit vom Winkel δ . Für das dargestellte Verfahren ist von Bedeutung, daß das Maximum dieser Größe - unabhängig von q und $\Delta\varphi$ -
 15 immer 1 beträgt und damit die Signalleistung angibt.

Zusammengefasst basiert die Erfindung auf der Erkenntnis, daß sich die durch den Polarisator POL transmittierte und gemessene Leistung I als einfache trigonometrische Funktion
 20 in Abhängigkeit von den beiden Stellwinkeln θ und δ der $\lambda/2$ -Platte, bzw. $\lambda/4$ -Platte beschreiben lässt.

Die gemessene Leistung I am optischen Spektrumanalysator OSA wird für einige definierte Einstellungen der Platten E1 und
 25 E2 z. B. in einer zwei-dimensionalen Tabelle in Abhängigkeit von den Stellgrößen δ und θ gespeichert. Im Folgenden werden die einzelnen Verfahrensschritte im Detail beschrieben. Zur einfacheren Darstellung wird das Verfahren zunächst für einen einzigen Kanal behandelt. Danach wird erläutert, wie der
 30 Signal-Rauschabstand OSNR sämtlicher Kanäle z. B. in einem WDM-System gleichzeitig bestimmt werden kann. Diese Methode eignet sich außerdem für beliebige optische Multiplex-Signale.

- 1) Bei einer festen Einstellung der $\lambda/4$ -Platte E1 z. B. bei einem Winkel δ_1 wird die Leistung LS des Kanals nach dem Polarisator POL für n verschiedene Stellungen d.h. für n Winkeln $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$ der $\lambda/2$ -Platte E2 als Satz oder
5 Spektrum S_{δ_1} von Leistungswerten aufgenommen ($n>1$).
- 2) Für jede beliebig fest gewählte Stellung der $\lambda/4$ -Platte E1 bei weiteren Winkeln $\delta_2, \dots, \delta_m$ mit $m>2$ und zeitlich konstante Polarisation der einfallenden Lichtwelle, gilt die
10 sinusförmige Abhängigkeit zwischen der gemessenen Leistung I nach dem Polarisator POL und dem Winkel θ der schnellen Achse der $\lambda/2$ -Platte E2 zum Polarisator POL. Das Maximum sowie das Minimum dieser Kurve sind abhängig von der Stellung der $\lambda/4$ -Platte E1 und werden im Folgenden als I_{\max} bzw. I_{\min}
15 bezeichnet.
- 3) Die Leistungen I_{\max} und I_{\min} werden aus den Messungen für mehrere Stellungen der $\lambda/2$ -Platte E2 durch einen geeigneten Kurvenfit an die Sinuskurve ermittelt und gespeichert. Ein
20 von den Leistungen I_{\max} und I_{\min} entsprechender Hub A1 wird dabei auch gespeichert.
- 4) Die Schritte (1) bis (3) werden im folgenden für verschiedene Stellungen der $\lambda/4$ -Platte E1 (Anzahl m,
25 $m>1$) wiederholt. Es werden damit m Werte für I_{\max} und I_{\min} ermittelt und gespeichert. Weitere von den Leistungen I_{\max} und I_{\min} entsprechenden Hübe A2, A3, ..., A_m werden dabei auch gespeichert.
- 30 5) Trägt man nun für die m Stellungen der $\lambda/4$ -Platte das Quadrat der Differenz $I_{\max} - I_{\min}$ über dem Winkel δ auf, so kann der maximale Wert für $(I_{\max} - I_{\min})^2$ durch einen geeigneten Fit an die sinusförmige Kurve ermittelt werden.
- 35 6) Das dabei auftretende Maximum entspricht der Signalleistung. Da die Summe aus Signalleistung und Rauschleistung durch eine Leistungsmessung am Eingang der

Vorrichtung bekannt ist, kann durch Subtraktion die Rauschleistung und somit auch der Signal-rauschabstand OSNR bestimmt werden.

- 5 Das Vorgehen für ein WDM-Signal mit mehreren Kanälen liegt nun auf der Hand. Anstelle der Leistung nur eines Kanals wird für jede Kombination der Stellungen der beiden doppelbrechenden Platten E1, E2 ein Leistungsspektrum S1, S2, ... aufgenommen, so daß jeweils die Leistungen aller
- 10 Kanäle nach dem Polarisator POL ermittelt werden. Die Auswertung durch Interpolation der sinusförmigen Kurven kann nun wie zuvor für jeden Kanal separat erfolgen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung des Signal-Rauschabstandes (OSNR) eines optischen Signals (S) mit einem beliebigen ersten
5 Polarisationszustand, der mittels einer Mehrzahl von Einstellungen eines Polarisationsstellers in einen zweiten Polarisationszustand umgewandelt wird, wobei definierte Änderungen des zweiten Polarisationszustandes durch den Polarisationssteller auf
10 der Poincaré-Kugel eingestellt werden, bei denen Leistungswerte des optischen Signals (S) nach Selektion einer Polarisationskomponente ermittelt werden, dadurch gekennzeichnet, dass die ermittelten Leistungswerte des optischen Signals
15 gespeichert werden und dass der Signal-Rauschabstand (OSNR) des optischen Signals aus einem berechneten Wert der gespeicherten Leistungswerte ermittelt wird.
- 20 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass aus den gespeicherten Leistungswerten ein interpolierter Hub ermittelt wird.
- 25 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass aus den gespeicherten Leistungswerten bzw. dem Quadrat der interpolierten Hübe die Signalleistung ermittelt wird.
- 30 4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Mehrzahl der Einstellungen des Polarisationsstellers minimal je nach einem festgesetzten Verhältnis zwischen Genauigkeitsermittlung des Signal-Rauschabstandes (OSNR) und
35 Messzeit gewählt wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

- a) dass Leistungswerte (LS) des optischen Signals für erst n Einstellungen einer ersten Phasenverschiebung in dem Polarisationssteller aufgenommen werden,
- 5 b) dass n Werte aus dem aufgenommenen Leistungsspektrum (LS) interpoliert werden, aus denen ein Hub ermittelt und in einer Tabelle gespeichert wird,
- c) dass weiterhin die Schritte a) bis b) für $m-1$ weitere Einstellungen einer zweiten Phasenverschiebung in dem
10 Polarisationssteller zur Einstellung der $n \times m$ unterschiedlichen Polarisationszustände wiederholt werden, aus denen $m-1$ weitere Hübe ermittelt und als weitere Werte in der Tabelle gespeichert werden,
- d) dass aus den in der Tabelle gespeicherten Werten der
15 optische Signal-Rauschabstand (OSNR) abgeleitet wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,

- dass eine Phasenverschiebung zwischen den Komponenten des
20 elektrischen Feldvektors des optischen Signals (S) bei der Einstellung der ersten Phasenverschiebung in dem Polarisationssteller und weiterhin eine zu einem nachgeschalteten Polarisator relative Polarisationsdrehung mit verstellbarem Winkel (δ , θ) bei der Einstellung der
25 zweiten Phasenverschiebung in dem Polarisationssteller so erfolgen,
- dass eine erste Phasenverschiebung eingestellt wird, bei der eine Mehrzahl n ($n > 1$) von Winkeln (θ_1 , θ_2 , ..., θ_n) bei einem ersten Winkel (δ_1) eingestellt werden, aus denen
30 ein Satz von Leistungswerten zur Erzeugung eines Spektrums aufgenommen wird,
- dass eine erste sinusförmige Interpolationkurve des aufgenommenen Spektrum durchgezogen wird, deren Hub (A_1) in der Tabelle gespeichert wird,
- 35 - dass die Einstellungen der Winkeln (θ_1 , θ_2 , ..., θ_n) bei weiteren Winkeln (δ_2 , ..., δ_m) mit $m > 2$ für weitere Phasenverschiebungen zur Aufnahme von weiteren Spektren

wiederholt werden, aus denen weitere Hübe (A_2, \dots, A_m) in der Tabelle gespeichert werden, deren Werte quadriert und mit einer zweiten sinusförmigen Kurve interpoliert werden,

- 5 - dass der Signal-Rauschabstand (OSNR) des optischen Signals bei einer beliebigen Einstellung des Polarisationsstellers aus dem Hub der zweiten sinusförmigen Kurve ermittelt wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
10 dadurch gekennzeichnet,
dass der Hub mittels unterschiedlicher Phasenverschiebungen einer Phasenverzögerungsplatte aus unterschiedlich gewählten Winkeln ($\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$) bestimmt wird.

- 15 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass das optische Signal (S) in einem Kanal eines mehrere Kanäle (K_1, K_2, \dots) aufweisenden WDM-Signals übertragen wird
und
20 dass die Kanäle, deren Signal-Rauschabstand (OSNR) zu bestimmen ist, sukzessiv durch spektrale Filterung selektiert werden.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 6,
25 dadurch gekennzeichnet,
dass das optische Signal (S) in einem Kanal eines mehrere Kanäle (K_1, K_2, \dots) aufweisenden WDM-Signals übertragen wird
und
dass bei einer gegebenen Kombination der Einstellungen der
30 beiden Phasenverschiebungen in dem Polarisationssteller für mehrere oder alle Kanäle jeweils ein Leistungswert gespeichert werden, so dass ein Satz von Leistungswerten (S_1, S_2, \dots) entsteht.

- 35 10. Verfahren nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet,

dass die für die einzelnen Kanäle gespeicherten Leistungswerte (S_1 , S_2 , ...) eine Ermittlung des Signal-Rauschabstandes (OSNR) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6 erfahren.

5

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass zur Aufnahme der Leistungswerte (S_1 , S_2 , ...) eine Auflösungszelle mit einer Bandbreite gleich oder kleiner als die spektrale Breite eines Kanals des WDM-Signals gewählt wird.

10

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Leistungswerte (S_1 , S_2 , ...) gleichzeitig aufgenommen werden.

15

13. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem nach Durchgang in eine erste verstellbare Phasenverzögerungsplatte (E_1) und weiterhin in eine zweite verstellbare Phasenverzögerungsplatte (E_2) das optische Signal (S) in einen linearen Polarisator (POL) mit nachgeschaltetem optischen Spektrumanalysator (OSA) eingespeist ist,

20

dadurch gekennzeichnet, dass dem optischen Spektrumanalysator (OSA) eine Speichereinheit (SE) zur Tabellierung von den am optischen Spektrumanalysator (OSA) gemessenen Leistungswerten des Signals bei unterschiedlichen Stellungen der Phasenverzögerungsplatte (E_1 , E_2) angeschlossen ist, dass dem optischen Spektrumanalysator (OSA) eine Ermittlungseinheit (EE) der Signal-Rauschabstandes (OSNR) durch Interpolation und Hubsuche der am optischen Spektrumanalysator (OSA) aufgenommenen Leistungswerten geschaltet ist.

25

30

35

14. Vorrichtung nach Anspruch 13,

dadurch gekennzeichnet,
dass die erste Phasenverzögerungsplatte (E1) eine $\lambda/4$ -Platte
und die zweite Phasenverzögerungsplatte (E2) eine $\lambda/2$ -Platte
ist.

FIG 1

